



ENERGETSKA EFIKASNOST VOZNIH PARKOVA-II DEO

Tehnološka poboljšanja na motoru vozila

Autor prezentacije:
Prof. dr Davor Vujanović



Sva autorska prava ove prezentacije su zaštićena, a prezentacija se može koristiti samo za nastavu na daljinu studenata Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu u školskoj 2020/2021. godini i ne može se koristiti u druge svrhe bez pismene saglasnosti autora

**Autor prezentacije:
Prof. dr Davor Vujanović**



SADRŽAJ PREZENTACIJE

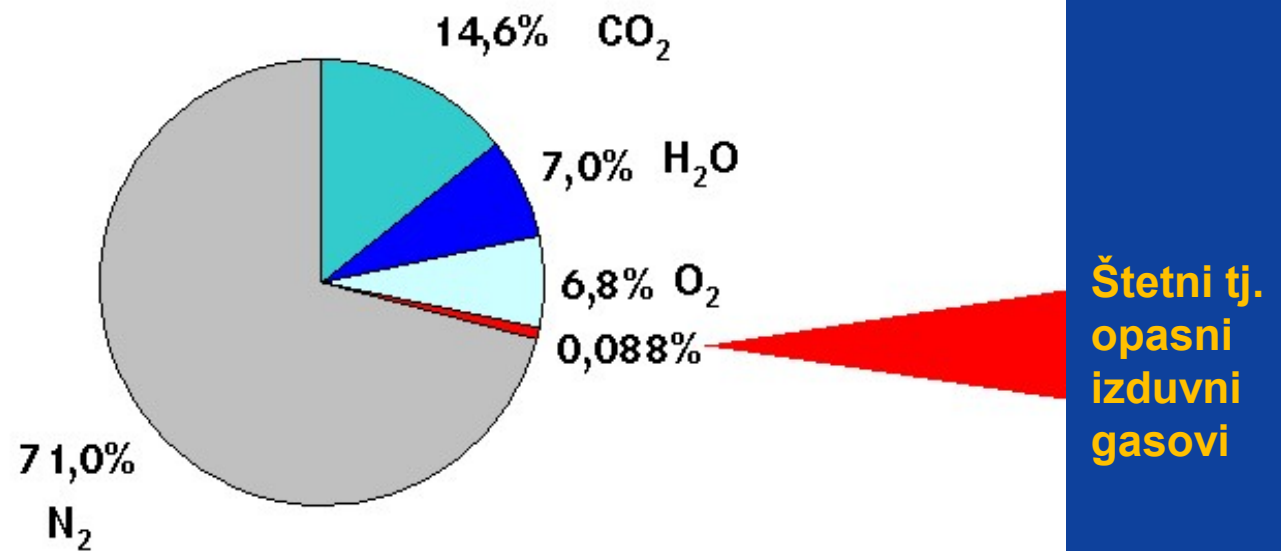
- sastav izduvnih gasova teretnog motornog vozila
- zakonska ograničenja na motoru vozila
- zahtevi za proizvođače teretnih motornih vozila
- problemi kod tehnološkog poboljšanja sastava izduvnih gasova
- tendencije u cilju poboljšanja sastava izduvnih gasova
- selektivna katalitička redukcija – SCR
- sistem povrata izduvnih gasova – EGR
- uporedna analiza SCR i EGR sistema
- primena SCR i EGR sistema po proizvođačima vozila
- naredni pravci i tendencije



- glavne komponente izduvnih gasova kod dizel motora su:
 - azot (N_2),
 - ugljen dioksid (CO_2)
 - vodena para (H_2O)
- ovi gasovi ne spadaju u otrovne izduvne gasove.



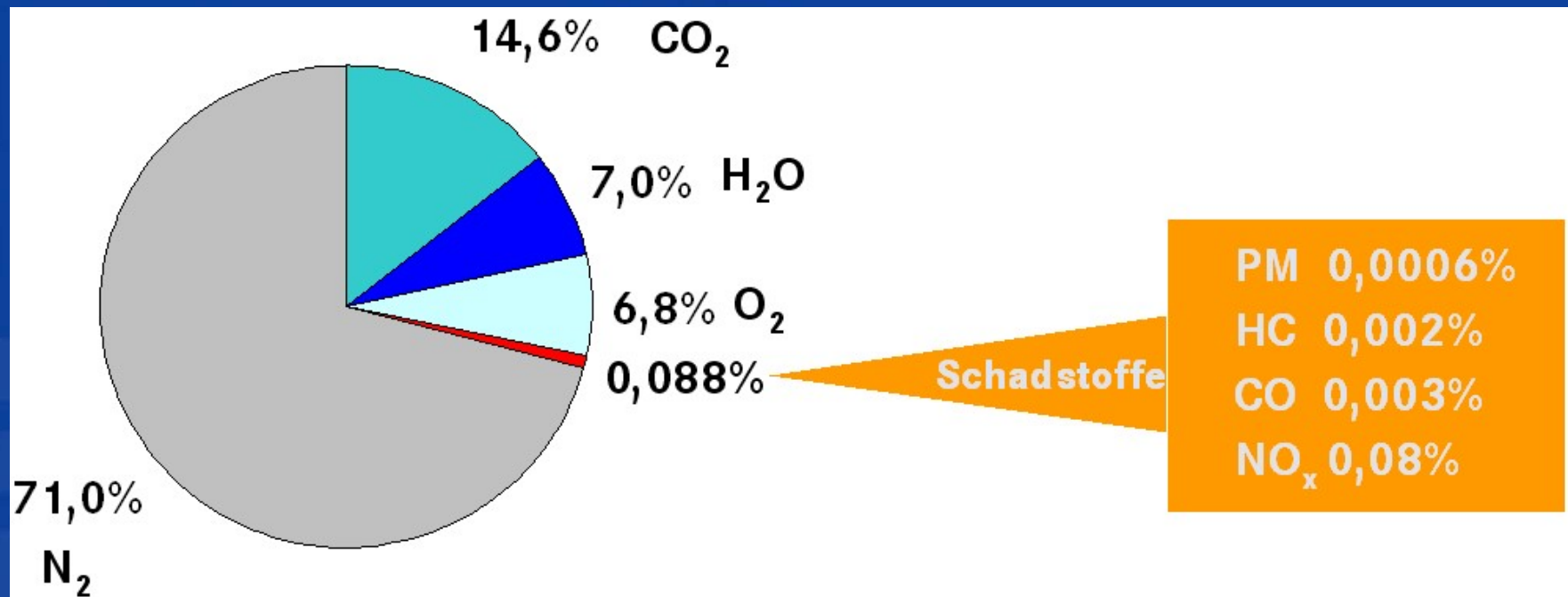
SASTAV IZDUVNIH GASOVA TERETNOG MOTORNOG VOZILA



Slika 1: Sastav izduvnih gasova pri maksimalnoj snazi na primeru EURO 3 motora Mercedes Benz OM 501LA



SASTAV IZDUVNIH GASOVA TERETNOG MOTORNOG VOZILA



Slika 2: Sastav štetnih (otrovnih) izduvni gasova pri maksimalnoj snazi na primeru EURO 3 motora Mercedes Benz OM 501LA



- **Regulativa Evropske Unije koja se odnosi na sastav izduvnih gasova za nova teretna vozila određena je sledećim direktivama:**
- **za EURO 0 motore – direktiva 88/77/EWG;**
- **za EURO 1 i EURO 2 motore – direktiva 91/542/EWG;**
- **za EURO 3, EURO 4 i EURO 5 motore – direktiva 1999/96/EG;**
- **za EURO 6 – direktiva 595/2009/EC**



ZAKONSKA OGRANIČENJA NA MOTORU VOZILA

Tabela 1: Prikaz hronološkog razvoja uvođenja Euro normi izduvnih gasova za teretna vozila

GODINA	ZAKONSKI PROPIS
1990	EURO 0
1992/93	EURO 1
1993	Ograničenje maksimalne brzine za kamione i autobuse
Od dec. 1993	Obavezno ispitivanje izduvnih gasova
1994	Uvođenje poreza na zagađenje za vozila > 3,5 t
1995/96	EURO 2
1999/00	EURO 3
10/2005	EURO 4 zakonski termin za uvođenje za sve nove modele sa homologacijom.
10/2006	EURO 4 zakonski termin za uvođenje za sva vozila koja se puštaju u saobraćaj.
10/2008	EURO 5 zakonski termin za uvođenje za sve nove modele sa homologacijom.
10/2009	EURO 5 zakonski termin za uvođenje za sva vozila koja se puštaju u saobraćaj.
2014	EURO 6

ZAKONSKA OGRANIČENJA NA MOTORU VOZILA

Tabela 2:
Propisane
granične
vrednosti
izduvnih
gasova za
teretna vozila
po Euro
normama

Norma	Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5
Direktiva	88/77/EWG	91/542/EWG		1999/96/EG		
Godina primene	1988/90	1992/93	1995/96	2000	2005/06	2008/09
CO (g/kWh)	12,3	4,9	4	2,1	1,5	1,5
HC (g/kWh)	2,6	1,23	1,1	0,66	0,46	0,46
NOx (g/kWh)	15,8	9	7	5	3,5	2,0
PM (g/kWh)	—	0,4	0,15	0,1	0,02	0,02



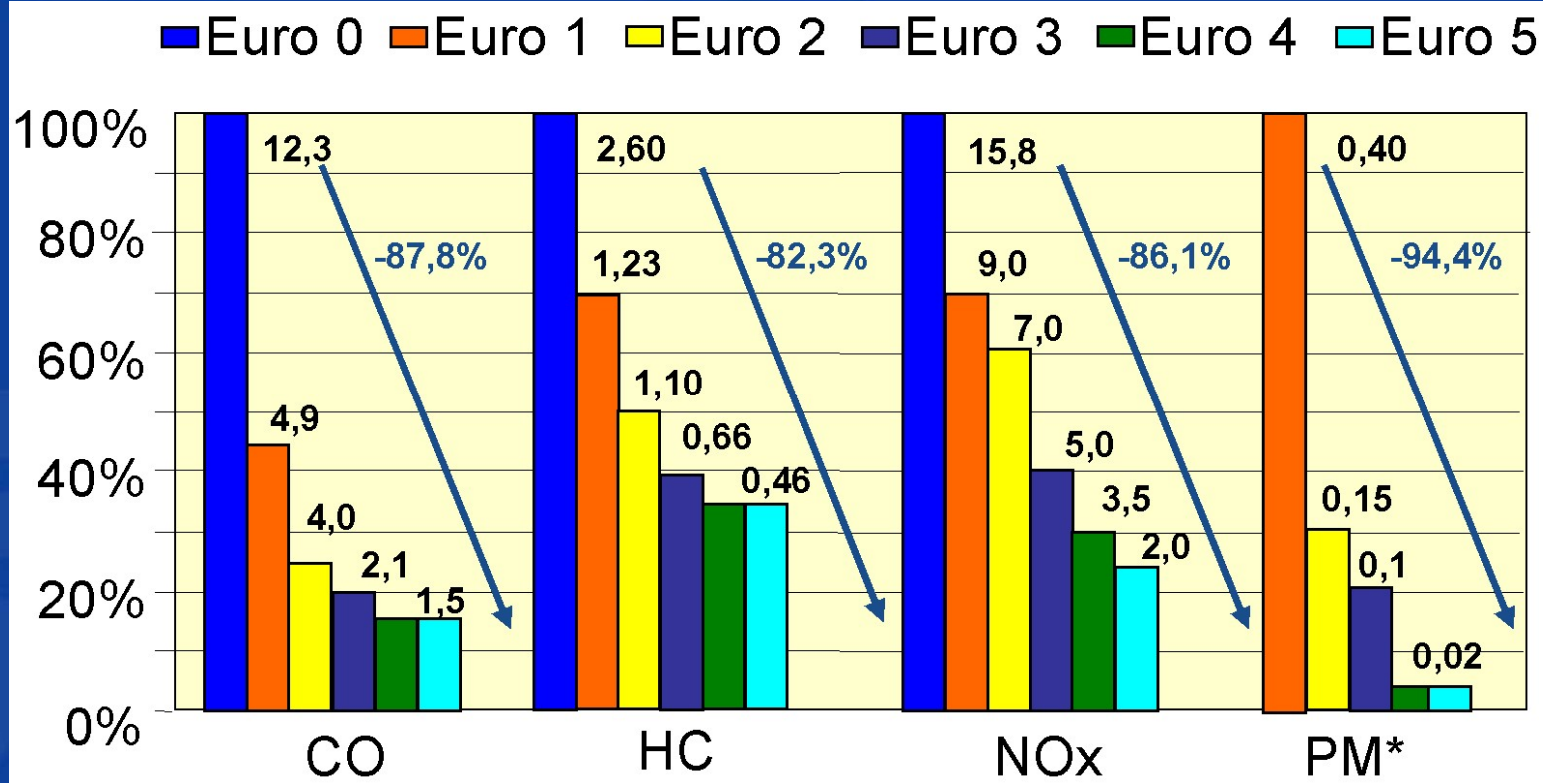
ZAKONSKA OGRANIČENJA NA MOTORU VOZILA

Tabela 3: Prikaz procentulnog smanjenja dozvoljenih vrednosti gasova kod Euro 4 i Euro 5 normi u odnosu na Euro 3 norme

Granična vrednost za štetne materije u g/kWh	EURO 3 2000/01	EURO 4 2005/06	EURO 5 2008/09	EURO 4 u odnosu na Euro 3, smanjenje u %	EURO 5 u odnosu na Euro 3, smanjene u %
CO	2,10	1,50	1,50	- 29	- 29
HC	0,66	0,46	0,46	- 30	- 30
NO _x	5,00	3,50	2,0	- 30	- 60
PM	0,10	0,02	0,02	- 80	- 80



ZAKONSKA OGRANIČENJA NA MOTORU VOZILA



Slika 3: Prikaz hronološkog razvoja graničnih vrednosti za izdnevne gasove kod teretnih motornih vozila od Euro 0 do Euro 5.



ZAKONSKA OGRANIČENJA NA MOTORU VOZILA

Tabela 4: Odnos novih predloženih graničnih vrednosti izduvnih gasova kod Euro 6 normi u odnosu na Euro 4 i Euro 5 norme

Granična vrednost za štetne materije u g/kWh	EURO 4 2005/06	EURO 5 2008/09	EURO 6 2013/2014
CO	1,50	1,50	1,50
HC	0,46	0,46	0,13
NO _x	3,50	2,0	0,40
PM	0,02	0,02	0,01



- zahtevi koji se ispostavljaju proizvođačima teretnih motornih vozila sa aspekta zakonske regulative su:
 - smanjenje azotnih oksida- NO_x
 - smanjenje ugljovodonika-HC
 - smanjenje čestica čađi-PM
 - smanjenje ugljen-monoksida-CO
- zahtevi koji se ispostavljaju proizvođačima teretnih motornih vozila od strane kupaca su:
 - smanjenje potrošnje goriva
 - obaranje cene vozila
 - povećanje prosečne brzine vozila

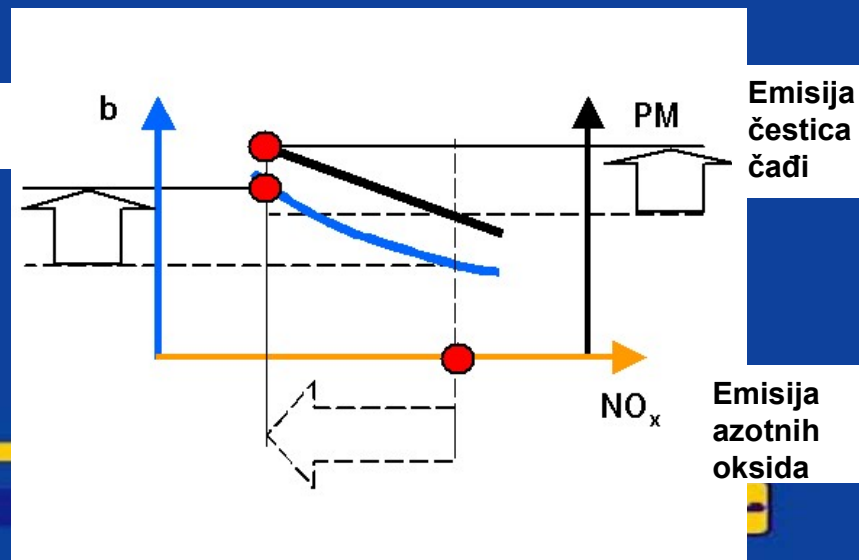


▪ istovremeno smanjenje emisije azotnih oksida i čestica čađi nije moguća i to iz dva razloga (slika 4):

- ako želimo da smanjimo emisiju azotnih oksida (NO_x), to će pri unutrašnjim merama na motoru dovesti do povećanja potrošnje goriva (b), pa samim tim i ugljendioksida (CO_2), kao i povećanja emisije čestica čađi (PM);
- ako želimo obrnuto, da smanjimo potrošnju goriva (b) i emisiju čestica čađi (PM) to će dovesti do povećane emisije azotnih oksida (NO_x).

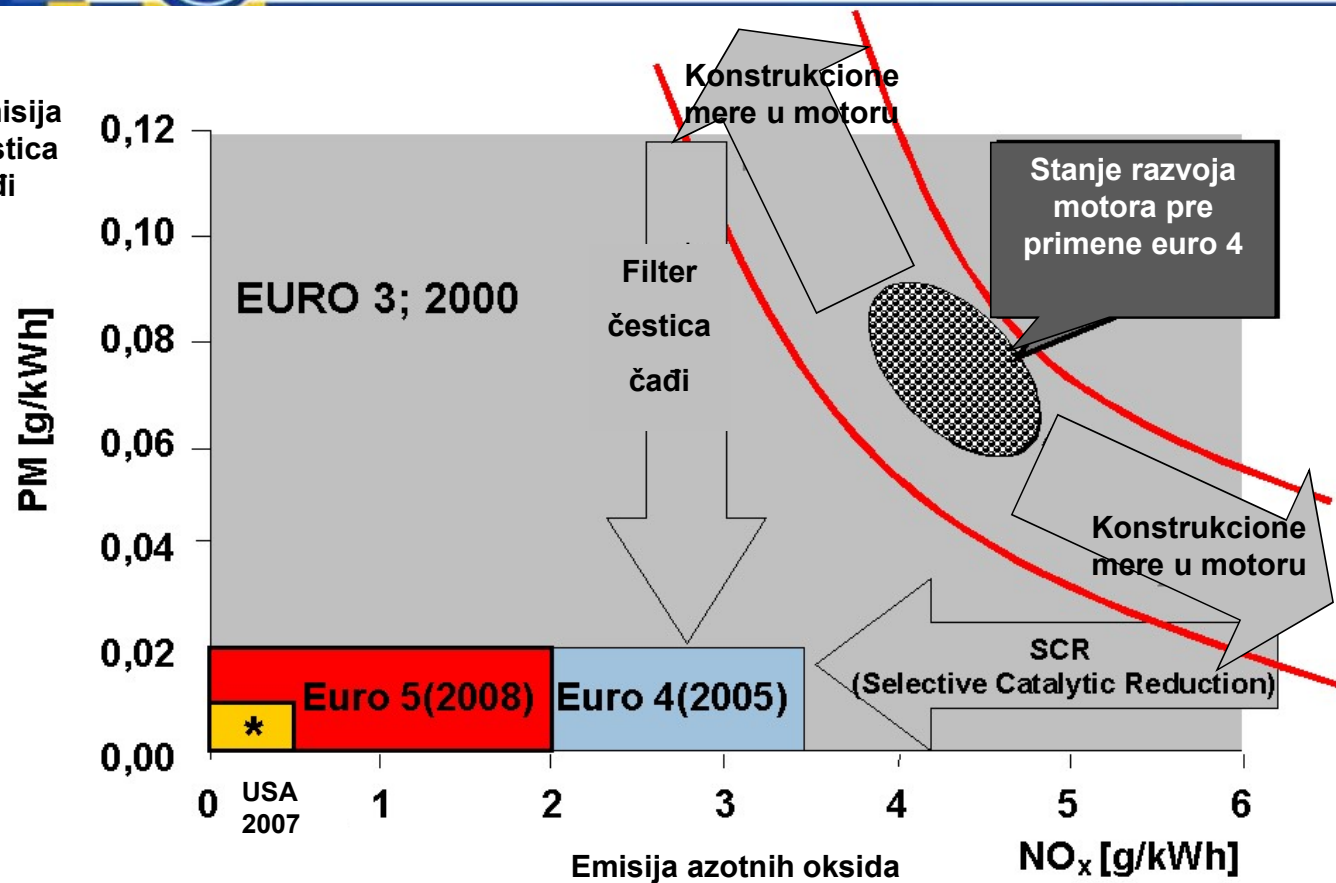
Slika 4: Prikaz zavisnosti potrošnje goriva (b) i emisije čestica čađi (PM) u odnosu na emisiju azotnih oksida (NO_x) kod dizel motora

Potrošnja goriva



TENDENCIJE U CILJU POBOLJŠANJA SASTAVA IZDUVNIH GASOVA

Emisija
čestica
čadi



Slika 5: Prikaz tendencija razvoja motora teretnih vozila



- smanjenje štetnih materija u izduvnim gasovima može se postići uz pomoć unutrašnjih konstrukcionih mera na dizel motoru u jednom uzanom polju (slika 5).
- međutim, tada nije moguće istovremeno smanjiti sve potrebne elemente, odnosno i potrošnju goriva i emisiju štetnih gasova do te mere kako bi motor zadovoljavao euro 4, a pogotovo euro 5 normu.



- ukoliko se ovim merama krene ka smanjenju azotnih oksida (NO_x), to će rezultirati porastom potrošnje goriva i emisije čestica čađi (PM). Smanjenje emisije čestica čađi se može postići spoljnim konstrukcionim merama tj. posebnim filterom čestica čađi
- ukoliko se krene na smanjenje potrošnje goriva i emisije čestica čađi, povećaćće se emisija azotnih oksida. Smanjenje azotnih oksida zahteva spoljnu konstrukcionu meru na motoru u obliku katalitičke redukcije



- u cilju rešavanja ovog međuzavisnog lanca potrošnje goriva, emisije čestica čađi i azotnih oksida, proizvođač motornih vozila *Daimler Chrysler* se opredelio za naknadnu intervenciju na izduvnim gasovima-
„Selektivna katalitička redukcija“
- po toj tehnologiji, smanjenje emisije azotnih oksida će naknadno uslediti uz pomoć *SCR (Selective Catalytic Reduction)* sistema. Time se može postići optimalno i efikasno sagorevanje



- proizvođač motornih vozila *MAN* se za rešavanje istog problema u početku odlučio za unutrašnju konstrukcionu meru na motoru pod nazivom „*Recirkulacija izduvnih gasova*“ (*Exhaust Gas Recirculation-EGR*) zajedno sa filterom čestica čađi (PF).



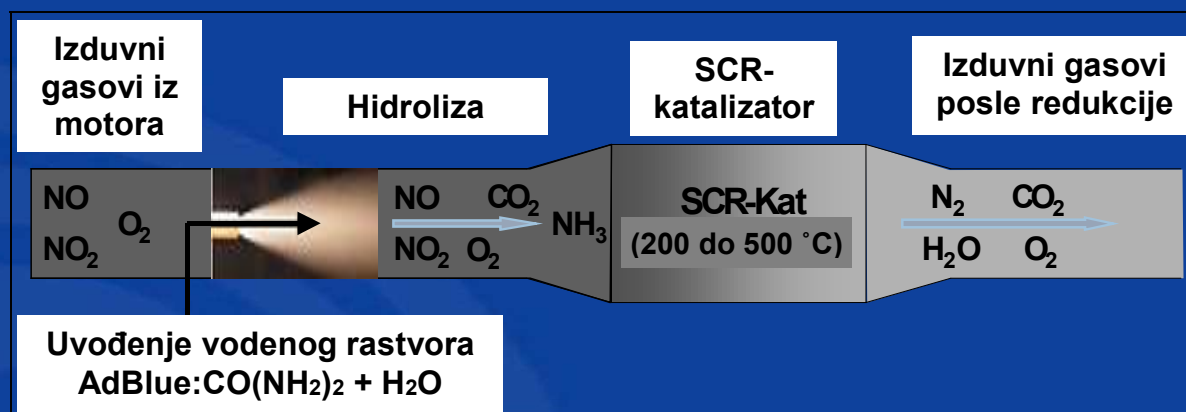
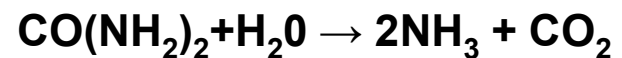
SELEKTIVNA KATALITIČKA REDUKCIJA - SCR

- SCR tehnologija omogućava smanjenje emisije azotnih oksida (NO_x) pomoću redukcionog sredstva
- motor se konstruiše za smanjenu emisiju čestica čađi na bazi optimalnog sagorevanja da bi se naknadno van motora u SCR katalizatoru smanjila emisija azotnih oksida
- obavlja se transformacija toksičnih azotnih oksida (NO_x) u bezopasni azot (N_2) i vodu (H_2O), koristeći amonijak (NH_3) kao redukciono sredstvo
- usled opasnih karakteristika amonijaka po zdravlje ljudi i ograničenih mogućnosti transportna i primene na motornim vozilima, koristi se amonijak u vidu vodenog rastvora tj. uree, komercijalno poznatog kao AdBlue ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$)
- AdBlue supstanca je bezopasna po zdravlje, bez boje i mirisa, koristi se i u tekstilnoj i farmaceutskoj industriji



SELEKTIVNA KATALITIČKA REDUKCIJA - SCR

- Adblue se sipa u poseban rezervoar na vozilu i zatim ubrizgava u izduvnu granu motora, u toplu struju izduvnih gasova
- zahvaljujući termolizi i hidrolizi, izdvaja se amonijak (NH_3) i ugljendioksid (CO_2), kako je prikazano na slici 6, odnosno:



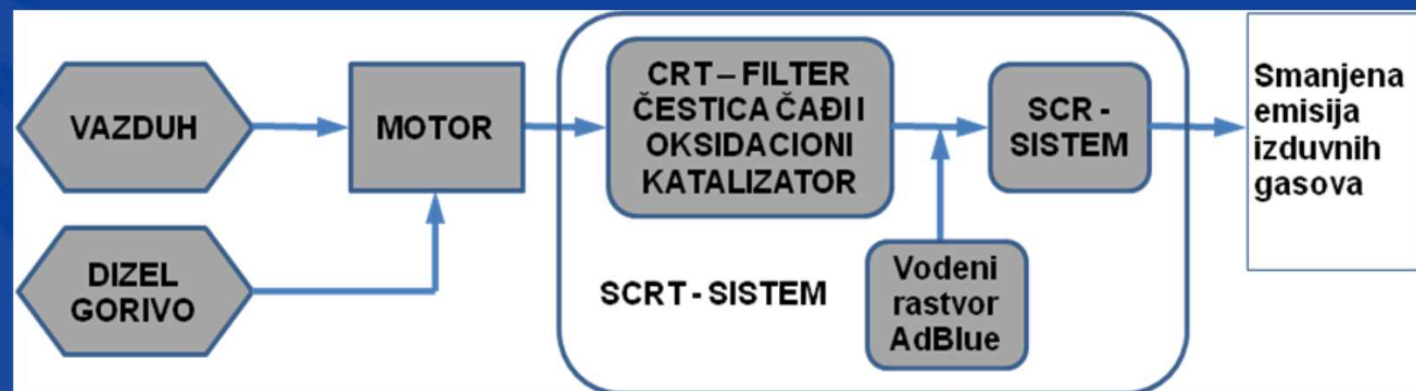
Slika 6: Kretanje gasova u izduvnoj grani motora sa redukcionim sredstvom i SCR katalizatorom



SELEKTIVNA KATALITIČKA REDUKCIJA - SCR

- azotni oksidi se do te mere mogu smanjiti da se ovom tehnologijom može ispuniti euro 5 norma, koja je stupila na snagu od oktobra 2009
- proizvođač Daimler Crhysler nudi prečišćavanje izduvnih gasova na bazi SCR tehnologije još od januara 2005 godine za sva teretna vozila i autobuse
- kada se pridoda CRT filter čestica čađi i oksidacioni katalizator koji su integrisani u izduvnoj grani vozila, tada ovaj sistem postaje kombinovani sistem filtriranja i katalitičke redukcije gasova, odnosno SCRT sistem, kako je prikazano na slici 7.

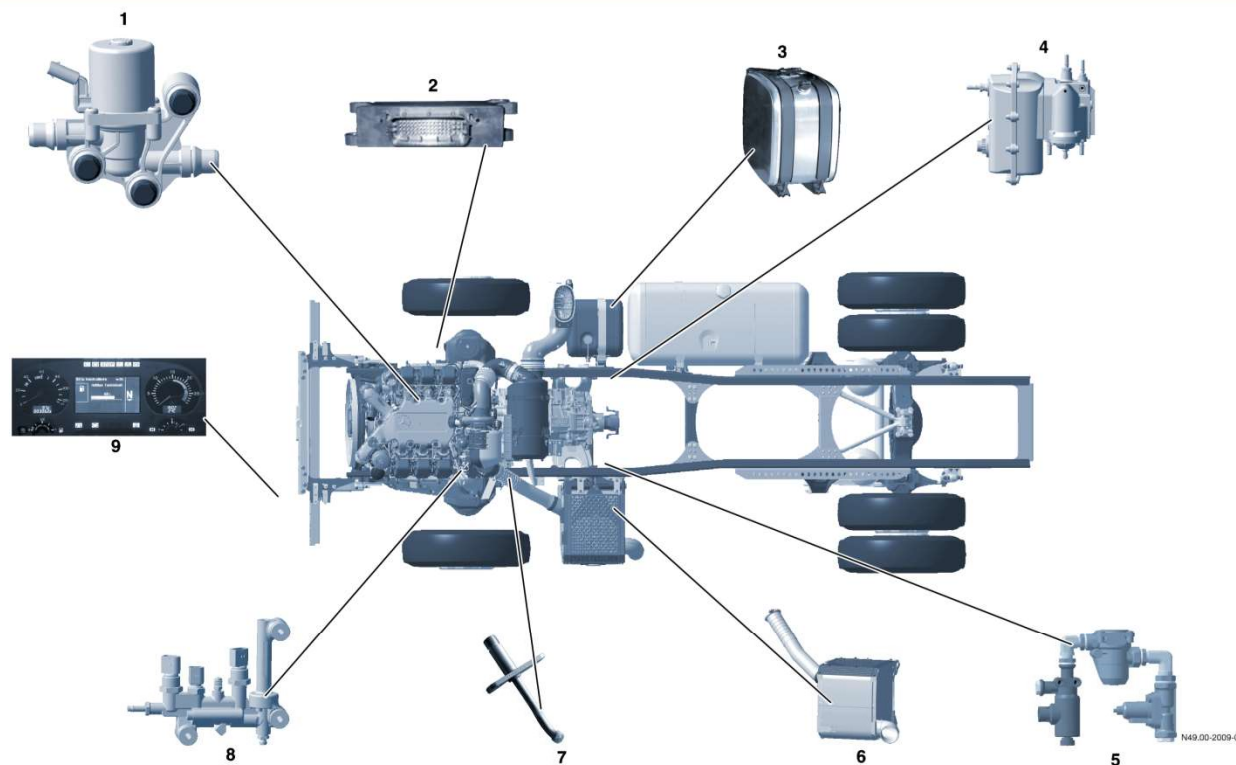
Slika 7: Šema rada SCRT sistema



SELEKTIVNA KATALITIČKA REDUKCIJA - SCR

- SCR-sistem se sastoji od sledećih važnih komponenti, kao što je dato na slici 8:

- 1 Ventil za rashladnu tečnost za grejanje rezervoara i jedinice za napajanje
- 2 Upravljačka jedinica na šasiji
- 3 AdBlue rezervoar sa davačem nivoa i grejanjem
- 4 AdBlue pumpa sa grejanjem
- 5 Pneumatski ventil
- 6 Katalizator za redukciju sa senzorima temperature pre i posle katalizatora
- 7 Dizna za AdBlue
- 8 AdBlue jedinica za doziranje
- 9 Instrumentalna tabla, pokazivač nivoa AdBlue



Slika 8: Raspored komponenti SCR sistema na vozilu



▪ Karakteristike AdBlue tečnosti su sledeće:

- AdBlue je čist 32,5% rastvor vodene uree;
- AdBlue je veštački proizveden, neotrovan, proziran, bazičan, bez boje i mirisa;
- AdBlue nije opasan i zato mu je dodeljena klasa 1 za opasnost za vode;
- AdBlue smrzava od -11°C i širi se ca. 10 %. Sistem se zato greje i opremljen je delovima osiguranim na pucanje;
- Termičko razlaganje AdBlue-a počinje na temperaturi od ca. $70-80^{\circ}\text{C}$ pri čemu se dobija potreban amonijak;
- Isušivanjem se dobijaju beli kristali.



SELEKTIVNA KATALITIČKA REDUKCIJA - SCR

- za rad i dijagnostiku SCR-sistema integrisan je poseban software u upravljačkoj jedinici (pozicija 2 na slici br. 8)
- cela AdBlue instalacija se greje rashladnom tečnošću motora
- rashladna tečnost opstrujava kućište pumpe i AdBlue rezervoar
- potrošnja AdBlue tečnosti kod Euro 4 motora iznosi oko četiri procenta od utrošenog dizel goriva, a kod Euro 5 motora potrošnja je nešto viša, oko šest procenata
- tegljač Mercedes Actros 1844 potroši svega litar do dva AdBlue tečnosti na 100 kilometara
- zapremina AdBlue rezervoara iznosi između 90 i 145 L što omogućava vozilu da pređe između 7 500 i 10 000 km sa jednim rezervoarom



- motor se konstruiše za smanjenu emisiju čestica čađi na bazi optimalnog sagorevanja da bi se naknadno van motora u SCR katalizatoru smanjila emisija azotnih oksida,
- upotrebom ove tehnologije, potrošnja goriva je smanjena zahvaljujući optimalnijem sagorevanju,
- zahtevi koji su postavljeni pred SCR tehnologiju su:
 - ✓ da ova tehnologija ne zauzima previše prostora na vozilu
 - ✓ da se SCR katalizator integriše u uobičajni lonac auspuha
 - ✓ da se omogući odgovarajući sistem za doziranje Adblua

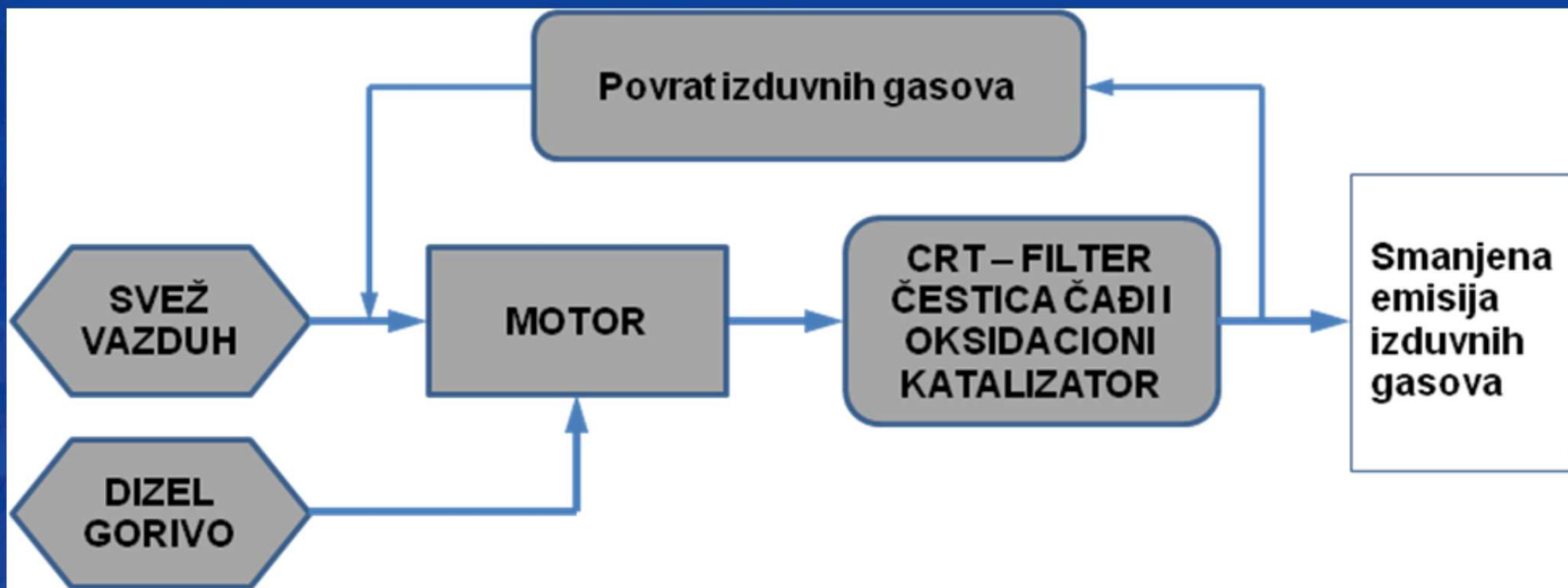


SISTEM POVRATA IZDUVNIH GASOVA - EGR

- EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) tehnologija je zasnovana na unutrašnjim konstrukcionim merama na motoru u cilju smanjenja azotnih oksida
- jedan deo izduvni gasova vraća se prema motoru
- pre vraćanja izduvni gasovi se primenom izmenjivača toplote hlade, pa se tako temperatura izduvni gasova koja se nalazi u rasponu od 600 do 700°C smanjuje na 200°C
- vraćanjem količine izduvni gasova u motor, smanjen je udeo azotnih oksida.
- međutim, kao posledica toga povećana je potrošnja goriva i emisija čestica čađi
- tako zaseban sistem nije dovoljan za postizanje euro 4 normi zbog povećane količine čestica čađi
- kod EGR sistema je potrebno još naknadno pročistiti izduvne gasove sa filterom čestica čađi-PM
- filteri dolaze u kombinaciji sa oksidacionim katalizatorima i poznati su pod nazivom CRT – filteri sa samočišćenjem (Continuously Regenerating Trap). Obično su integrisani u izduvnom loncu vozila



SISTEM POVRATA IZDUVNIH GASOVA - EGR



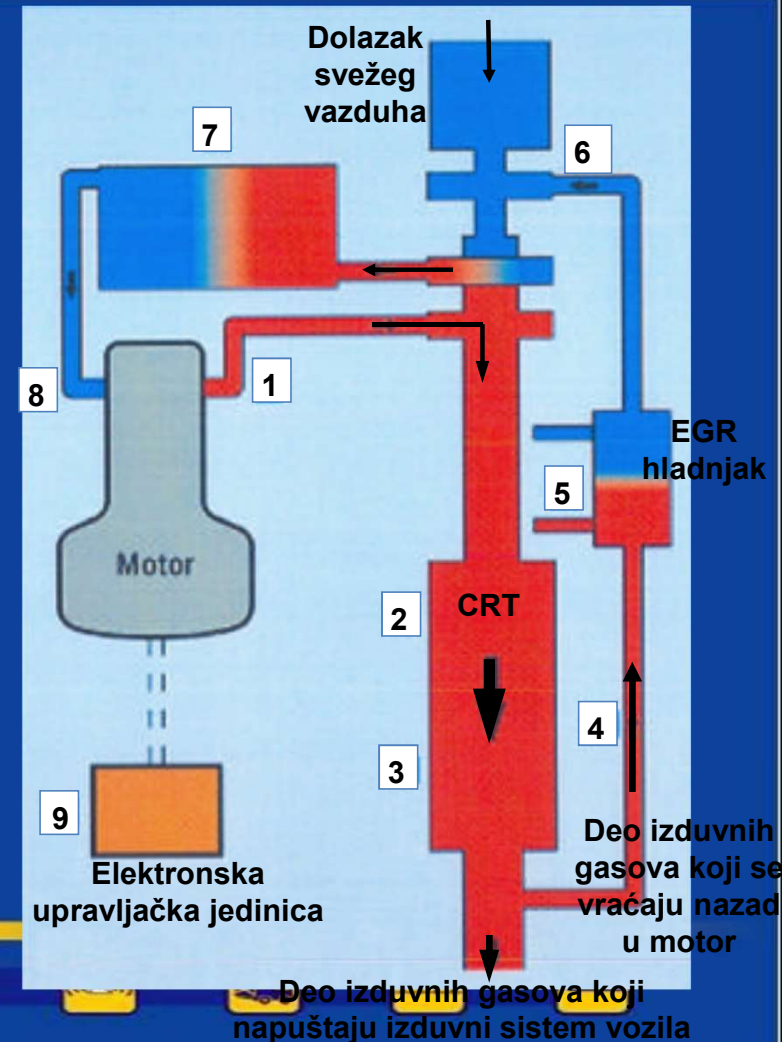
Slika 9: Šema rada EGR sistema



SISTEM POVRATA IZDUVNIH GASOVA - EGR

- nakon sagorevanja goriva, izduvni gasovi napuštaju cilindar motora (poz.1),
- ugljovodonici (HC) i ugljenmonoksid (CO) sagorevaju u oksidacionom katalizatoru prema hemijskom procesu oksidacije (poz. 2),
- čestice čađi se sakupljaju u CRT filteru (poz. 3),
- određena količina tako pročišćenih izduvni gasova vraća se nazad u motor (poz. 4),
- količina izduvni gasova koja se vraća nazad rashlađuje se u EGR hladnjaku, koji koristi vodu od rashadnog sistema motora (poz. 5),
- elektronska upravljačka jedinica preko jednog elektromotora reguliše otvor EGR ventila kroz koji se propušta određena količina izduvni gasova i na taj način se reguliše odnos sa svežim vazduhom (poz. 6),
- pre nego što mešavina svežeg vazduha i izduvni gasova dođe do cilindra, dodatno se hladi u međuhladnjaku (poz. 7),
- pošto se za proces sagorevanja goriva koristi smeša vazduha i izduvni gasova, manji je procenat kiseonika u toj smeši (poz. 8), pa je time sprečeno formiranje veće količine azotnih oksida (NO_x), nakon sagorevanja,
- čitav ovaj zaokruženi proces prati elektronska upravljačka jedinica (poz. 9).

Slika 10: Kretanje izduvni gasova u EGR sistemu



EGR-sistem se sastoji od sledećih najvažnijih komponenti:

- CRT filter čestica čađi
- oksidacioni katalizator
- crevo za vođenje izduvnih gasova nazad u motor
- EGR hladnjak za hlađenje izduvnih gasova
- kontrolni EGR ventil
- međuhladnjak za dodatno hlađenje smeše vazduha i vraćenih izduvnih gasova
- filter izduvnih gasova i ostalih nečistoća pre ulaska u motor;
- elektronska upravljačka jedinica

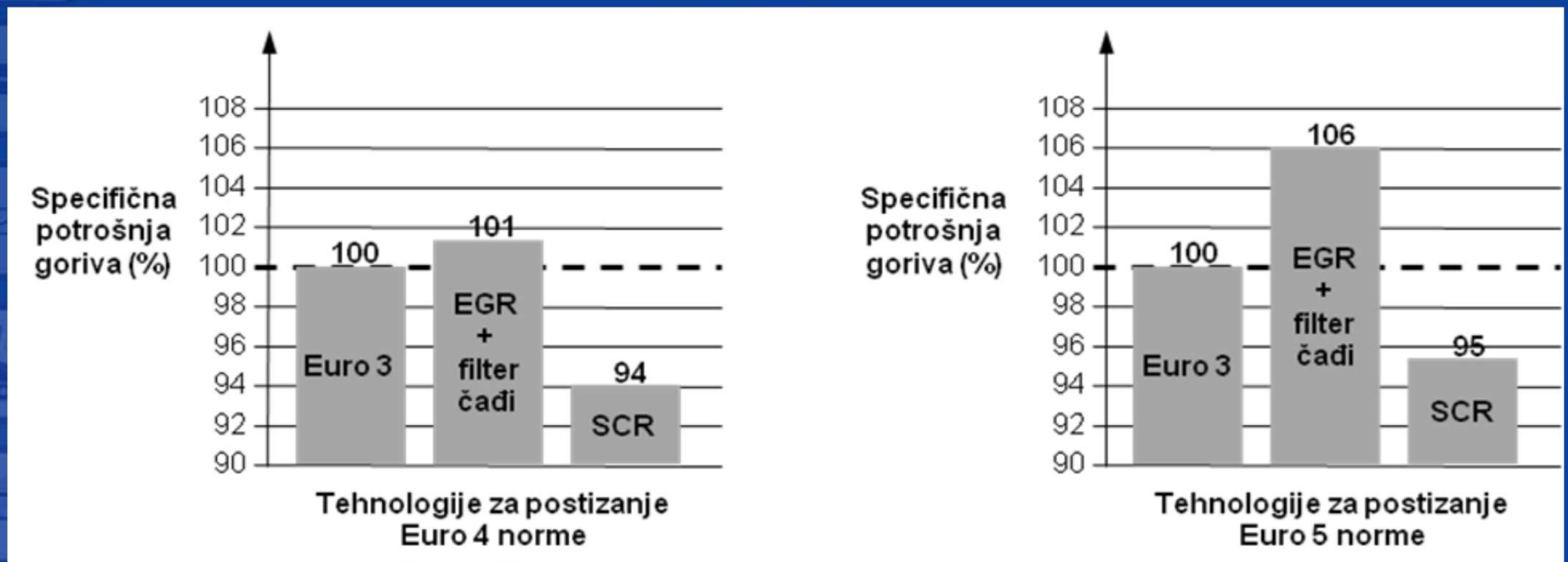


- unapređenija varijanta EGR sistema razvijena od strane proizvođača motora *Caterpillar* pod nazivom *Recirkulacija pročišćenih gasova - CGI (Clean Gas Induction)*:

- kod ove varijante se izduvni gasovi najpre pročiste u katalizatoru od ugljovodonika (HC), a pomoću filtera i od određene količine čestica čađi
- zatim se jedan deo tako pročišćenih izduvnih gasova ponovno vraća u motor
- korišćenjem ove unapređene varijante EGR sistema, uz razvijenije tehnologije ubrizgavanja goriva, moguće je dostići Euro 5 norme



UPOREDNA ANALIZA SCR I EGR SISTEMA



Slika 11: Prikaz odnosa specifične potrošnje goriva kod primene SCR i EGR tehnologija na motoru za postizanje Euro 4 i Euro 5 normi u odnosu na Euro 3 normu



UPOREDNA ANALIZA SCR I EGR SISTEMA

Tabela 5: Pregled radnog principa i prednosti SCR i EGR sistema

Naziv sistema	Selektivna katalitička redukcija - SCR	Recirkulacija izduvnih gasova - EGR i filter čestica čađi
Radni princip	Hemijski tretman gasova izvan motora ubrizgavanjem vodenog rastvora AdBlue u izduvnoj grani, čime je omogućeno razlaganje azotnih oksida (NO_x) na bezopasan azot (N_2) i vodu (H_2O).	Unutrašnja konstrukciona mera na motoru, kod koje se izduvni gasovi vraćaju nazad u motor zbog manjeg procenta azotnih oksida prilikom procesa sagorevanja goriva.
Prednosti	<ul style="list-style-type: none"> - Euro 5 se u odnosu na Euro 4 jednostavno postiče dodavajući više AdBlue tečnosti. Euro 5 u ponudi od 2005 godine; - smanjena potrošnja goriva do 6 % jer motor u osnovi radi kao EURO 1 motor; - emisija čestica čađi smanjena do 30 %; - ukoliko otkáže SCR sistem nema otkaza na vozilu, već je samo povećana potrošnja goriva; 	<ul style="list-style-type: none"> - vrlo jednostavan i nezahtevan EGR sistem recikulacije gasova; - filter čestica čađi već postoji na vozilu i favorizuju ga udruženja za zaštitu životne sredine; - nema dodatnih troškova eksploatacije jer nema dodatne Adblue tečnosti; - nema dodatne mase i dodatno korištenog prostora na vozilu;



UPOREDNA ANALIZA SCR I EGR SISTEMA

Tabela 6: Pregled nedostataka SCR i EGR sistema

Naziv sistema	Selektivna katalitička redukcija – SCR	Recirkulacija izduvnih gasova - EGR i filter čestica čađi
Mane	<ul style="list-style-type: none">- veći troškovi eksploatacije zbog cene dodatne AdBlue tečnosti ;- SCR oprema sa rezervoarom za AdBlue tečnost je teža za oko 150kg i zauzima dragocen prostor na vozilu;- SCR oprema zahteva održavanje, tj. servisiranje;- neophodna distributerska mreža za AdBlue tečnosti;- velika osjetljivost SCR katalizatora i filtera čađi na visok sadržaj sumpora u gorivu. Zahteva se isključivo eurodizel;- AdBlue tečnost u rezervoaru zahteva grejanje u zimskim mesecima jer smrzava na -12 °C;- u slučaju vožnje bez AdBlue tečnosti snaga motora se drastično smanjuje za oko 30% normalne snage;- zahteva se upotreba motornih ulja visokog kvaliteta;	<ul style="list-style-type: none">- Euro 5 se može postići jedino upotrebom razvijenije tehnologije ubrizgavanja goriva kao što je XPI sistem od proizvođača vozila Scania, što znatno poskupljuje EGR sistem;- motor je kompleksniji i složeniji od Euro 1 motora;- veća potrošnja goriva od Euro 3 motora;- zahteva se upotreba samo goriva sa malo sumpora, odnosno isključivo eurodizela zbog osetljivosti filtera čađi;- zahteva se upotreba motornog ulja visokog kvaliteta namenjena za upotrebu za EGR sistem;



PRIMENA SCR I EGR SISTEMA PO PROIZVOĐAČIMA VOZILA

Tabela 7: Pregled primene SCR i EGR sistema kod proizvođača teretnih motornih vozila za postizanje Euro 4 i Euro 5 normi o izduvnim gasovima

Proizvođač	Tehnologija
	<ul style="list-style-type: none"> • za Euro 4: EGR • za Euro 5: SCR
	<ul style="list-style-type: none"> • za Euro 4 za R6 motor: HPI/EGR + Turbokompresor; • za Euro 4 za V8 motor: SCR; • za Euro 5: SCR; • za Euro 5: XPI/EGR (od 2007 godine);
Mercedes Benz	<ul style="list-style-type: none"> • za Euro 4: SCR; • za Euro 5: SCR;
 	<ul style="list-style-type: none"> • za Euro 4: SCR • za Euro 5: SCR
	<ul style="list-style-type: none"> • za Euro 4: SCR • za Euro 5: SCR
IVECO	<ul style="list-style-type: none"> • za Euro 4: SCR • za Euro 5: SCR

- proizvođači komercijalnih vozila preko 3,5 t ukupne dozvoljene mase primenjuju obe navedene tehnologije zajedno (SCR i EGR) za postizanje Euro 6 normi od 2014.g.
- trenutno je veoma slična situacija i kod putničkih vozila po pitanju postizanja euro 6 normi
- dalja poboljšanja po pitanju energetske efikasnosti i izduvnih gasova idu u pravcu veće primene teretnih (komercijalnih) motornih vozila na alternativne pogone (hibridna i vozila na elektro pogon)



Sva autorska prava ove prezentacije su zaštićena, a prezentacija se može koristiti samo za nastavu na daljinu studenata Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu u školskoj 2020/2021. godini i ne može se koristiti u druge svrhe bez pismene saglasnosti autora

**Autor prezentacije:
Prof. dr Davor Vujanović**

